

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-339345
(P2001-339345A)

(43) 公開日 平成13年12月7日 (2001.12.7)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード*(参考)
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	M 5 K 0 0 2
10/18			L
10/152			
10/142			
10/04			

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-158708(P2000-158708)

(22) 出願日 平成12年5月29日 (2000.5.29)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 秋山 祐一

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 大井 寛己

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100072718

弁理士 古谷 史旺

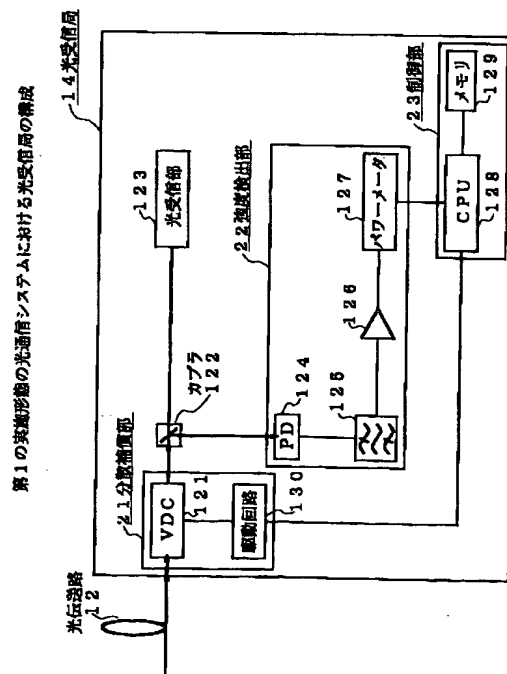
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光受信局、光通信システム及び分散制御方法

(57) 【要約】

【課題】 本発明の目的は、光デュオバイナリ変調方式の光信号において、伝送路の波長分散を精密に制御する光受信局、光通信システム及び分散制御方法を提供することにある。

【解決手段】 本発明では、光受信局14は、光デュオバイナリ変調方式の光信号が入射され、分散値を変更することができる分散補償部21と、光信号における特定の周波数成分の強度を検出する強度検出部22と、強度検出手段の出力が所定の極値となるように分散補償部21の分散値を調整する制御部23とを備えて構成される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光デュオバイナリ変調方式の光信号が入射され、分散値を変更することができる分散補償手段と、
前記分散補償手段から射出される前記光信号における特定の周波数成分の強度を検出する強度検出手段と、
前記強度検出手段の出力が所定の極値となるように前記分散補償手段の前記分散値を調整する制御手段とを備えることを特徴とする光受信局。

【請求項2】 光デュオバイナリ変調方式の光信号が入射され、通過波長帯域を変更することができるフィルタと、
前記フィルタから射出される前記光信号における特定の周波数成分の強度を検出する強度検出手段と、
前記強度検出手段の出力が所定の極値となるように前記光信号の波長を調整するとともに、調整された該波長に前記フィルタの通過波長帯域を一致させる波長制御手段とを備えることを特徴とする光受信局。

【請求項3】 固定の分散値で波長分散を補償する分散補償器を更に介して前記光信号を前記強度検出手段に入射させることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の光受信局。

【請求項4】 光デュオバイナリ変調方式の光信号を生成する光送信局と、
生成された前記光信号を伝送する光伝送路と、
伝送された前記光信号を受信する、請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の光受信局とを備えることを特徴とする光通信システム。

【請求項5】 光デュオバイナリ変調方式の光信号を伝送する伝送路の波長分散を制御する分散制御方法において、
前記光信号における特定の周波数成分の強度を検出するステップと、
検出された前記強度が所定の極値となるように前記伝送路の総分散量を調整するステップとを備えることを特徴とする分散制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光デュオバイナリ変調方式を用いた光伝送システムにおいて、波長分散を補償する光受信局及び光通信システムに関する。更に、伝送路の総分散量を調整する分散補償方法に関する。現在、将来のマルチメディアネットワークの構築を目指し、超長距離でかつ大容量の光通信装置が要求されている。現在の基幹系光通信においては、10Gb/sの光伝送システムが実用化されているが、かかる要求を満たすべく、時分割多重方式において、40Gb/sの光伝送システムが研究・開発されている。

【0002】

【従来の技術】 無中継の光ファイバによる伝送最大距離

は、減衰及び波長分散によって制限される。伝送距離を延長するためには、この減衰と波長分散とを補償する必要がある。減衰は、希土類元素添加光ファイバ増幅器などによって補償され、一方、波長分散は、光ファイバ中を伝搬する光信号が受ける分散値と反対符号の固定の分散特性を持つ分散補償器を光伝送路に挿入することによって補償されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、分散補償トレランスは、ビットレートの2乗に反比例するため、40Gb/sでは10Gb/sの分散補償トレランスに較べその1/16になってしまう。従って、分散補償器の分散値を精密に調整する必要がある。分散補償トレランスは、分散補償器で波長分散を補償する場合、或る伝送条件を満たすために許容される分散補償値の範囲の幅である。例えば、パワーペナルティ（伝送による光信号の受信感度劣化）を1dB以下に抑えるために許される分散補償値の範囲の幅である。

【0004】 更に、光伝送路の波長分散は、温度変化等の経時変化によって変わる。この光伝送路の分散の変化量は、（光伝送路零分散波長の温度依存性）×（温度変化）×（分散スロープ）×（伝送距離）で与えられる。例えば、光伝送路が分散シフトファイバ、温度変化が-40℃～+60℃、そして、伝送距離が600kmとした場合では、 $0.03 \text{ nm}/^{\circ}\text{C} \times 100^{\circ}\text{C} \times 0.08 \text{ ps}/\text{nm}^2/\text{km} \times 600 \text{ km} = 144 \text{ ps}/\text{nm}$ である。

【0005】 これは、分散補償トレランスが広い光デュオバイナリ変調方式を光信号の変調方式に採用したとしても、無視できない値である。なお、シミュレーションによれば、40Gb/sの光デュオバイナリ変調方式の分散補償トレランスは、アイ開口ペナルティ1dB以下を伝送可能条件とした場合に、 $400 \text{ ps}/\text{nm}$ であり、既設の単一モード光ファイバ長に換算すると22km（ $400 \text{ ps}/\text{nm} \div 18.6 \text{ ps}/\text{nm}/\text{km}$ ）である。

【0006】 そこで、本発明の目的は、光デュオバイナリ変調方式の光信号において、伝送路の波長分散を精密に制御する光受信局、光通信システム及び分散制御方法を提供することにある。そして、本発明の他の目的は、光デュオバイナリ変調方式の光信号において、経時変化する波長分散を精密に制御する光受信局、光通信システム及び分散制御方法を提供することにある。

【0007】 なお、光デュオバイナリ変調方式及び変調器は、例えば、特開平08-139681号公報や特表平09-501296号公報に開示されている。

【0008】

【課題を解決するための手段】 上述の目的は、以下の手段によって達成される。

【0009】 即ち、本発明の第1の手段では、光受信局

は、光デュオバイナリ変調方式の光信号が入射され、分散値を変更することができる分散補償手段と、この分散補償手段から射出される光信号における特定の周波数成分の強度を検出する強度検出手段と、強度検出手段の出力が所定の極値となるように分散補償手段の分散値を調整する制御手段とを備えて構成される。

【0010】本発明の第2の手段では、光受信局は、光デュオバイナリ変調方式の光信号が入射され、通過波長帯域を変更することができるフィルタと、このフィルタから射出される光信号における特定の周波数成分の強度を検出する強度検出手段と、強度検出手段の出力が所定の極値となるように光信号の波長を調整するとともに、調整されたこの波長にフィルタの通過波長帯域を一致させる波長制御手段とを備えて構成される。

【0011】本発明の第3の手段では、第1の手段又は第2の手段の光受信局において、光受信局は、固定の分散値で波長分散を補償する分散補償器を更に介して光信号を強度検出手段に入射させるように構成される。本発明の第4の手段では、光通信システムは、光デュオバイナリ変調方式の光信号を生成する光送信局と、生成された光信号を伝送する光伝送路と、伝送された光信号を受信する、第1の手段乃至第3の手段のいずれか1の手段の光受信局とを備えて構成される。

【0012】本発明の第5の手段では、光デュオバイナリ変調方式の光信号を伝送する伝送路の波長分散を制御する分散制御方法は、光信号における特定の周波数成分の強度を検出するステップと、検出された強度が所定の極値となるように伝送路の総分散量を調整するステップとを備えて構成される。光信号の受信感度の評価は、その一方法として、アイパターンのアイ開口度によって評価することができる。総波長分散の変化に対するアイ開口度特性と波長分散の変化に対する特定の周波数成分の強度特性とは、一定の関係がある。

【0013】このため、このような光受信局、光通信システム及び分散補償方法では、総波長分散を直接検出することなく、検出容易な特定周波数成分の強度に応じて光伝送路の総分散量を可変の分散補償手段で制御するので、精密に総波長分散を制御することができる。そして、精密に総波長分散を制御するので、受信感度が最適化され、長距離伝送が可能となる。さらに、このような光受信局、光通信システム及び分散補償方法では、分散補償手段の分散値が可変であるので、経時変化にも対応することができる。

【0014】なお、更に好適な解決手段は、後述の発明の実施形態及び図面において記載される。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について図面に基いて説明する。なお、各図において、同一の構成については、同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0016】(第1の実施形態の構成) 第1の実施形態は、本発明にかかる光送信局、光通信システム及び分散制御方法の実施形態である。図1は、第1の実施形態の光通信システムの構成を示す図である。図2は、第1の実施形態の光通信システムにおける光送信局の構成を示す図である。

【0017】図3は、第1の実施形態の光通信システムにおける光受信局の構成を示す図である。図4は、可変分散補償器の一構成例を示す図である。図5は、可変分散補償器における各セグメントへ与える電圧パターン及び各パターンに対する分散特性を示す図である。

【0018】図1(a)において、第1の実施形態の光通信システムは、光送信局11、光伝送路12及び光受信局14を備えて構成される。光送信局11で生成された光デュオバイナリ変調方式で変調された光信号は、光伝送路12に送出され、光伝送路12で減衰及び波長分散を生じて、光受信局14で受信処理される。

【0019】ここで、光送信局11と光受信局14との間の伝送距離が、長距離である場合には、図1(b)に示すように、光伝送路12の間に必要個数の中継局13が設けられる。中継局13は、光増幅器などを備えて構成され、この光デュオバイナリ信号を増幅中継する。光増幅器は、例えば、半導体光増幅器や希土類元素添加光ファイバ増幅器などがある。

【0020】次に、この光通信システムに適用される光送信局11の構成について説明する。図2において、光送信局11は、NRZ生成器101、プリコーダ102、D-フリップフロップ(以下、「D-FF」と略記する。)103、アンプ104-a、104-b、低域通過フィルタ(以下、「LPF」と略記する。)105-a、105-b、半導体レーザ(以下、「LD」と略記する。)106及びマッハツェンダ干渉計型光変調器(Mach-Zehnder interferometer type optical modulator、以下、「MZ変調器」と略記する。)107を備えて構成される。

【0021】NRZ生成器は、光送信局11から光受信局14に伝送すべき情報に従うノン・リターン・ゼロ(non return to zero、以下、「NRZ」と略記する。)方式の2値の電気信号を生成する。生成されたNRZ信号は、プリコーダ102内のインバータ111に入力される。プリコーダ102は、インバータ111、排他的論理和回路(以下、「EXOR」と略記する。)112及び遅延回路113を備えて構成される。

【0022】インバータ111は、NRZ信号を反転する、即ち、真理値の「0」を「1」に、「1」を「0」に変更し、EXOR112の一方のポートに出力する。例えば、正論理では、ハイレベルの電圧レベルをローレベルの電圧レベルに、ローレベルの電圧レベルをハイレベルの電圧レベルに変更し、EXOR112の一方のポートに出力する。

【0023】EXOR112の出力は、遅延回路113及びD-FF103に入力される。遅延回路113は、入力を1ビットだけ遅らせて、EXOR112の他方のポートに出力する。従って、EXOR112は、インバータ111の出力と遅延回路113の出力との排他的論理和を取り、出力することになる。

【0024】D-FF103は、入力された信号を1クロック遅らせて出力する。出力Qは、アンプ104-aで増幅された後に、LPF105-aを介してMZ変調器107の一方の電極117-aに印加される。そして、出力Qの反転出力Q（図2では、Qにオーバーラインで示す。）は、アンプ104-bで増幅された後に、LPF105-bを介してMZ変調器107の他方の電極117-bに印加される。

【0025】これらプリコード102、D-FF103、アンプ104及びLPF105によって、2値のNRZ信号は、3値のデュオバイナリ信号になる。MZ変調器107は、ニオブ酸リチウム（ LiNbO_3 ）基板に、チタン（Ti）を熱拡散させた光導波路116と電極117とを備えて形成される。この光導波路117は、途中で2つに分岐し、分岐した各光導波路116に各電極117が装荷され、再び合流する。

【0026】LD106は、光搬送波であるレーザ光を発振する。このレーザ光は、MZ変調器107に入射され、前述の各電極117に印加されたデュオバイナリ信号に従い光強度変調されて、光デュオバイナリ信号となって光伝送路12に射出される。次に、この光通信システムに適用される光受信局14の構成について説明する。

【0027】図3において、光受信局14は、分散補償部21、入射光を2つに分岐するカプラ122、光受信部123、強度検出部22及び制御部23を備えて構成される。分散補償部21は、光デュオバイナリ信号が入射され、波長分散を補償するための分散値を変更することができる。強度検出部22は、光デュオバイナリ信号における特定の周波数成分の強度を検出する。制御部23は、強度検出部22の出力が所定の極値となるように分散補償部21の分散値を調整する。

【0028】以下、より具体的に説明する。光伝送路12を伝送した光デュオバイナリ信号は、分散補償部21内の可変分散補償器（以下、「VDC」と略記する。）121に入射される。VDC121は、後述の制御による分散値で光デュオバイナリ信号の波長分散を補償し、カプラ122を介して、光受信部123及び強度検出部22に射出する。

【0029】光受信部123は、光デュオバイナリ信号を受信・処理し、光送信局から伝送された情報を取り出す。光受信部123は、例えば、光デュオバイナリ信号を受光して光電変換し、光電変換された3値の電気信号を2個の識別器にそれぞれ出力して「1」「0」を識別

し、各識別器の出力の排他的論理和を取ることで2値の電気信号に復調することができる。

【0030】一方、強度検出部22は、フォトダイオード（以下、「PD」と略記する。）124、帯域通過フィルタ（以下、「BPF」と略記する。）125、アンプ126及びパワーメータ127を備えて構成される。強度検出部22に入射された光デュオバイナリ信号は、PD124に受光され、光電変換される。変換された電気信号は、BPF125で40Gb/sの周波数成分だけが取り出される。BPF125の出力は、アンプ126で所定のレベルに増幅され、パワーメータ127でそのパワー（強度）が検出される。

【0031】パワーメータ127の出力は、制御部23内の中央処理装置（以下、「CPU」と略記する。）128に入力される。制御部23は、CPU128及びメモリ129を備える。

【0032】メモリ129は、後述される、VDC121の電圧パターンと分散値との関係テーブル、及び、CPU128を動作させるプログラムなどが予め格納され、プログラム実行中の各値などがその都度格納される。そして、メモリ129は、CPU128の要求に応じて、関係テーブルなどを参照し、その結果をCPU128に出力する。

【0033】CPU128は、マイクロプロセッサなどを備えて構成され、VDC121の分散値を制御する信号を分散補償部21内の駆動回路130に出力する。分散補償部21は、VDC121及びそれを駆動する駆動回路130を備えて構成される。駆動回路130は、CPU128から出力された信号に従った電圧パターンの電圧をVDC121に印加し、VDC121の分散値を変更する。

【0034】次に、分散補償部21の一構成例について説明する。分散補償部21は、VDC121及び駆動回路130を備えて構成される。VDC121は、図4において、チャープドファイバグレーティング（chirped fiber Bragg grating）141の21個のセグメントの各々に圧電素子142がそれぞれ取り付けられて構成される。VDC121は、これら各圧電素子142へ供給される印加電圧V1～V21として、図5（a）に示すように傾斜をつけて電圧が印加されると、チャープドファイバグレーティング141の長手方向に加わる圧力が変化し、図5（a）のA～Dの電圧パターンに対して図5（b）のように分散値（線の傾き）を変化させる。

【0035】ここで、図4、図5（a）、図5（b）及び上述の説明は、M.M.Ohm et al., "Tunable fiber grating dispersion using a piezoelectric stack", OFC '97 Technical Digest, WJ3, pp.155-156 からの抜粋である。なお、この他、簡易な装置として、分散補償部21は、互いに分散補償量の異なる複数の分散補償ファイバ、光スイッチ及び光スイッチを制御する制御用CPU

を備え、光スイッチで分散補償ファイバを選択することによって分散補償量を不連続に変更する構成がある。

【0036】さらに、可変分散補償器は、ファイバグレーティングに温度傾斜を与えて分散値を変化させる方法 (Sergio Brarcelos et al., Characteristics of chirped fiber gratings for dispersion compensation, OFC'96 Technical Digest, WK12, pp. 161-162) や PLC (planar lightwave circuit) に温度変化による位相変化を与えて分散値を変化させる方法 (K. Takiguchi, et al., Variable Group-Delay Dispersion Equalizer Using Lattice-Form Programmable Optical Filter on Planar Lightwave Circuit, IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics, 2, 1996, pp. 270-276) などがある。

【0037】(第1の実施形態の作用効果) まず始めに、基本的な考え方について説明する。図6は、非線形光学効果が光伝送中で生じていない場合における分散補償方法の説明図である。図6の横軸は、 ps/nm 単位で表示した総波長分散であり、左縦軸は、強度であり、右縦軸は、アイ開口度である。強度は、絶対強度であり、アイ開口度は、アイパターンのアイにおける縦方向の最大の開きを基準に規格化した値である。

【0038】図6において、総分散波長の変化に対する特性曲線は、2つある。その下の実線は、光デュオバイナリ信号における40GHzの周波数成分の強度特性を示す曲線である。そして、その上の実線は、アイ開口度特性を示す曲線である。後述する図7乃至図9の表示も、図6と同様である。図6におけるこれらの曲線は、平均光パワーが0dBmである入力光を単一モード光ファイバ(SMF)に入射させ、50km伝送させた場合のシミュレーション結果である。

【0039】図6に示すように、アイ開口度特性は、総波長分散 $0ps/nm$ で極小値を持ち、その左右に極大値(図6では最大値でもある。)を持つ。一方、強度特性は、総波長分散 $0ps/nm$ で極大値(図6では最大値でもある。)を持つ。これは、光信号がデュオバイナリ変調方式であること及び光信号の入力光パワーが非線形光学効果を生じさせるには充分でないレベルであることなどによる。

【0040】従って、受信感度劣化に関係するアイ開口度特性と光信号の特定の周波数成分の強度特性との間には、総波長分散を介して、図6に示すような一定の関係がある。今、仮に受信条件がアイ開口度の極小値以下であるa点で示すレベルである場合には、総波長分散 N は、 $n1 \leq N \leq n9$ の範囲にあればよい。このため、特定周波数成分の強度が常に最大値になるように波長分散を可変分散補償器で補償すれば、総波長分散は、 $0ps/nm$ となる。このとき、アイ開口度がa点以上のレベルとなるから、受信条件は、満たされることになる。

【0041】また、仮に受信条件がアイ開口度の極小値より大きいb点で示すレベルである場合には、総波長分

散 N は、 $n2 \leq N \leq n4$ 、 $n6 \leq N \leq n8$ の範囲にあればよい。この場合には、特定周波数成分の強度を最大値に保つように可変分散補償器の波長分散を調整したのでは、アイ開口度は、b点以下のレベルになってしまう。このため、上述と同様に、特定周波数成分の強度が最大値になるように可変分散補償器の波長分散を調整することによって受信条件を満たすようにするためには、固定の分散補償値である分散補償器を介することによって、特定周波数成分の強度が最大値になる総波長分散値をずらせばよい。

【0042】即ち、固定の分散補償器を介して特定周波数成分の強度を検出し、この検出結果の強度が常に最大値になるように波長分散を可変分散補償器で補償すれば、アイ開口度がb点以上のレベルとなるから、受信条件は、満たされることになる。ここで、固定の波長分散値は、 $n6 \sim n8$ ($n2 \sim n4$)の範囲の値にすればよい。

【0043】特に、アイ開口度が最大値となる波長分散値、 $n7$ 点($n3$ 点)の波長分散値を持つ固定の分散補償器とすれば、アイ開口度が最大値となるから、受信条件は、最適化されることになる。次に、入力光の光パワーが光伝送路中で非線形光学効果を光信号に生じさせるに足る大きさの場合について説明する。

【0044】図7は、非線形光学効果が光伝送中で生じる場合における分散補償方法の説明図である。図7における2本の曲線は、平均光パワーが+15dBmである入力光を単一モード光ファイバに入射させ、50km伝送させた場合のシミュレーション結果である。

【0045】図7に示すように、アイ開口度特性は、総波長分散約 $30ps/nm$ で最大値を持ちその後も約 $30 \sim 110ps/nm$ の範囲でなだらかに変化し、ほぼ最大レベルを保っている。一方、強度特性は、複数の極値を持つ。これは、光信号がデュオバイナリ変調方式であること及び光信号の入力光パワーが非線形光学効果を生じさせるに充分なレベルであることなどによる。

【0046】従って、受信感度劣化に関係するアイ開口度特性と光信号の特性の周波数成分の強度特性との間には、総波長分散を介して、図7に示すような一定の関係がある。今、仮に受信条件がアイ開口度のc点で示すレベルである場合には、総波長分散 N は、 $m1 \leq N \leq m4$ の範囲にあればよい。一方、この範囲において、特定の周波数成分の強度は、 $m2$ で極小値を持ち、 $m3$ で極大値(図7では最大値でもある。)を持つ。このため、特定周波数成分の強度が常に極小値になるように波長分散を可変分散補償器で補償すれば、アイ開口度がc点以上のレベルとなるから、受信条件は、満たされることになる。あるいは、特定周波数成分の強度が常に最大値になるように波長分散を可変分散補償器で補償すれば、アイ開口度がc点以上のレベルとなるから、受信条件は、満たされることになる。

【0047】以上のように、種々の入力光の光パワーについて、予め総波長分散の変化に対する、特定の周波数成分の強度特性とアイ開口度特性を所定の光伝送路について測定又はシミュレーションによって求める。次に、目的の光通信システムにおける光信号の入力光パワー及び受信条件（アイ開口度の条件）に応じて、①乃至③の分散補償方法の中から選択して、波長分散を補償する。即ち、

①光信号における特定の周波数成分の強度を検出し、この検出された強度が常に極大値となるように光伝送路の総波長分散量を可変分散補償器で調整する。

【0048】特に、非線形光学効果を生じる入力光パワーでは、強度特性において複数の極大値が存在するので、受信条件を満たすアイ開口度を与える総波長分散範囲内における極大値を選択する。

②光信号における特定の周波数成分の強度を、固定の分散値である分散補償器を介して検出し、この検出された強度が常に極大値となるように光伝送路の総波長分散量を可変分散補償器で調整する。

【0049】特に、この固定の分散値は、受信感度を最良にする観点から、特定の周波数成分の強度が最大値となる総波長分散量とアイ開口度が最大値となる総波長分散量との差分の分散値に一致させることが好ましい。

③光信号における特定の周波数成分の強度を検出し、この検出された強度が常に極小値となるように光伝送路の総波長分散量を可変分散補償器で調整する。

【0050】特に、非線形光学効果を生じる入力光パワーでは、強度特性において複数の極小値が存在するので、受信条件を満たすアイ開口度を与える総波長分散範囲内における極小値を選択する。ここで、特定の周波数成分は、光信号のビットレートに合わせる。例えば、本実施形態のように光デュオバイナリ変調方式信号のビットレートが40Gb/sである場合には、この光デュオバイナリ変調方式信号における40GHzの周波数成分である。

【0051】また、平均光パワーPinが0dBm、+3dBm、+6dBm、+9dBm、+12dBm、+15dBmである入力光を単一モード光ファイバに入射させ、50km伝送させた場合のシミュレーション結果を図8及び図9に示す。この場合では、0dBm、+3dBm及び+6dBmは、非線形光学効果を生じさせるには充分ではない入力光パワーであり、+9dBm、+12dBm及び+15dBmは、非線形光学効果を生じさせるに足る入力光パワーである。

【0052】図8及び図9において、アイ開口度が良好な範囲において、▲は、40GHz周波数成分の強度の極大値を示し、■は、40GHz周波数成分の強度の極小値を示す。△は、アイ開口度の最大値を示す。次に、より具体的に本実施形態の作用効果について説明する。最初に光信号の平均入力光パワーが+3dBmでアイ開

口度が0.7であって、①の分散補償方法の場合について説明する。

【0053】まず、この光送信局11、光伝送路12及び光受信局14、必要に応じて中継局13を備えて構成される光通信システムを設置する際に、設置者は、光送信局11から送出される光信号の平均入力光パワー+3dBmに設定する。光送信局11は、光デュオバイナリ信号を送出する。なお、特に、試験用の光デュオバイナリ信号を送出させるようにしてもよい。

【0054】送出されたこの光信号は、光伝送路12を介して光受信局14で受信される。光受信局14の強度検出部22は、40GHzの周波数成分の強度を検出する。CPU128は、VDC121の分散値を最小値から最大値まで第1の一定間隔で変化させ、この一定間隔毎に強度検出部22の出力をそのときの分散値（電圧パターン）とともにメモリ129に格納する。この強度検出部22の出力をD0、D1、D2、D3・・・、Djとする。

【0055】CPU128は、メモリ129に格納したD0、D1、D2、D3・・・、Djの中から最大値を求める。これをDmax0とする。CPU128は、この最大値を与える分散値（電圧パターン）をメモリ129から検索し、その分散値となるようにDVC121を調整する。CPU128は、この最大値Dmax0をメモリ129に格納する。

【0056】CPU128は、第1の一定間隔よりも小さい第2の一定間隔で更に、VDC121の分散値を増加させる方向に変化させ、強度検出部22の出力を取り込む。この出力をDmax1とする。CPU128は、Dmax0とDmax1とを比較する。CPU128は、比較の結果、Dmax1がDmax0より大きい場合には、Dmax0をDmax1に置き換えて、さらに、第2の一定間隔でVDC121の分散値を増加させる方向に変化させる。この操作をDmax1がDmax0より小さくなる場合まで繰り返すことによって、Dmax0が正の傾きの強度特性曲線上にある場合に、精密に最大値を検出することができる。さらに、光通信システムの運用（サービス）中においても、この操作を行うことにより経時変化に対応することができる。

【0057】一方、CPU128は、比較の結果、Dmax1がDmax0より小さい場合には、Dmax0をDmax1に置き換えないで、さらに、Dmax0を与える電圧パターンに戻って、ここから第2の一定間隔でVDC121の分散値を減少させる方向に変化させる。そして、CPU128は、強度検出部22の出力を取り込む。この出力をDmax2とする。

【0058】CPU128は、Dmax0とDmax2とを比較する。CPU128は、比較の結果、Dmax2がDmax0より大きい場合には、Dmax0をDmax2に置き換えて、さらに、第2の一定間隔でVDC121の分散値を減少させる方向に変化させる。この操作をDmax2がDmax0より小

さくなる場合まで繰り返すことによって、 $D_{\max 0}$ が負の傾きの強度特性曲線上にある場合に、精密に最大値を検出することができる。さらに、光通信システムの運用（サービス）中においても、この操作を行うことにより経時変化に対応することができる。

【0059】また、CPU128は、第1及び第2の2個の間隔で最大値を検出することによって、早くしかも精密に最大値を検出することができる。なお、上述では、光信号の入力光パワーが+3 dBmの場合について説明したが、0 dBm、+6 dBm、+9 dBm、+12 dBm及び+15 dBmの場合など任意の入力光パワーについて、同様に補償することができる。ここで、+9 dBm、+12 dBm及び+15 dBmの場合のように、複数の極大値が存在する場合には、目的の極大値が総波長分散の変化範囲において何番目の極大値であるかを示すデータをメモリ129に格納しておき、CPU128は、これを参照して目的の極大値を抽出することができるようにする。あるいは、VDC121の分散可変範囲を制限し、総波長分散の変化範囲を目的の極大値だけを含む範囲内に制限して、CPU128が目的の極大値を抽出することができるようにする。このようにCPU128が、複数の極大値の中から目的の極大値のみを抽出することができるようにする。

【0060】次に、光信号の平均入力光パワーが+3 dBmでアイ開口度が0.7であって、②の分散補償方法の場合について説明する。ここで、アイ開口度が例えば、0.85などの場合では、①の分散補償方法では、補償することができないので、②の分散補償方法にすることになる。まず、この場合の光受信局24の構成について説明する。

【0061】図10は、第1の実施形態の光通信システムにおける光受信局の一変形の構成を示す図である。この光受信局24は、図3に示す光受信局14に対して、図10に示すようにカプラ122とPD124との間に固定の分散補償器（以下、「DC」と略記する。）151を設けることを除き図3と同様であるので、その説明を省略する。

【0062】また、このような光送信局11、光伝送路12、必要に応じて中継局13、及び、光受信局24を備える光通信システムの作用効果は、上述の①の場合と同様であるので、その説明を省略する。ここで、DC151の分散値は、図8(a)の場合では約 $\pm 95 \text{ ps/nm}$ 、図8(b)の場合では約 $\pm 98 \text{ ps/nm}$ 、図8(c)の場合では約 $\pm 95 \text{ ps/nm}$ 及び約 -97 ps/nm に設定すると、常に強度を最大値に維持することで、総波長分散は、アイ開口度が最大値をとる場合に最適化される。

【0063】次に、光信号の平均入力光パワーが+12 dBmでアイ開口度が0.8であって、③の分散補償方法の場合について説明する。なお、この場合には、①の

分散補償方法でも分散補償が可能である。まず、この光送信局11、光伝送路12及び光受信局14、必要に応じて中継局13を備えて構成される光通信システムを設置する際に、設置者は、光送信局11から送出される光信号の平均入力光パワー+12 dBmに設定する。

【0064】光送信局11は、光デュオバイナリ信号を送出する。送出されたこの光信号は、光伝送路12を介して光受信局14で受信される。光受信局14の強度検出部22は、40 GHzの周波数成分の強度を検出する。CPU128は、VDC121の分散値を最小値から最大値まで第1の一定間隔で変化させ、この一定間隔毎に強度検出部22の出力をそのときの分散値（電圧パターン）とともにメモリ129に格納する。この強度検出部22の出力を D_0 、 D_1 、 D_2 、 D_3 、 \dots 、 D_j とする。

【0065】CPU128は、メモリ129に格納した D_0 、 D_1 、 D_2 、 D_3 、 \dots 、 D_j の中から目的の極小値を求める。これを $D_{\min 0}$ とする。ここで、複数の極小値が存在する場合には、目的の極小値が総波長分散の変化範囲において何番目の極小値であるかを示すデータをメモリ129に格納しておき、CPU128は、これを参照して目的の極小値を抽出することができるようにする。あるいは、CPU128は、最大値をまず検出してこれを基準にして目的の極小値を抽出するようにする。例えば、図9(b)では、目的の極小値は、最大値に対して総波長分散が小さくなる方向における最初の極小値である。さらに、VDC121の分散範囲を制限し、総波長分散の変化範囲を目的の極小値だけを含む範囲内に制限して、CPU128が目的の極小値を抽出することができるようにする。このようにCPU128が、複数の極小値の中から目的の極小値のみを抽出することができるようにする。

【0066】CPU128は、この極小値を与える分散値（電圧パターン）をメモリ129から検索し、その分散値となるようにDVC121を調整する。CPU128は、この極小値 $D_{\min 0}$ をメモリ129に格納する。CPU128は、第1の一定間隔よりも小さい第2の一定間隔で更に、VDC121の分散値を増加させる方向に変化させ、強度検出部22の出力を取り込む。この出力を $D_{\min 1}$ とする。

【0067】CPU128は、 $D_{\min 0}$ と $D_{\min 1}$ とを比較する。CPU128は、比較の結果、 $D_{\min 1}$ が $D_{\min 0}$ より小さい場合には、 $D_{\min 0}$ を $D_{\min 1}$ に置き換えて、さらに、第2の一定間隔でVDC121の分散値を増加させる方向に変化させる。この操作を $D_{\min 1}$ が $D_{\min 0}$ より大きくなる場合まで繰り返すことによって、 $D_{\min 0}$ が負の傾きの強度特性曲線上にある場合に、精密に極小値を検出することができる。さらに、光通信システムの運用（サービス）中においても、この操作を行うことにより経時変化に対応することができる。

【0068】一方、CPU128は、比較の結果、Dmin1がDmin0より大きい場合には、Dmin0をDminx1に置き換えないで、さらに、Dmin0を与える電圧パターンに戻って、ここから第2の一定間隔でVDC121の分散値を減少させる方向に変化させる。そして、CPU128は、強度検出部22の出力を取り込む。この出力をDmin2とする。

【0069】CPU128は、Dmin0とDmin2とを比較する。CPU128は、比較の結果、Dmin2がDmin0より大きい場合には、Dmin0をDmin2に置き換えて、さらに、第2の一定間隔でVDC121の分散値を減少させる方向に変化させる。この操作をDmin2がDmin0より小さくなる場合まで繰り返すことによって、Dmin0が正の傾きの強度特性曲線上にある場合に、精密に最大値を検出することができる。さらに、光通信システムの運用（サービス）中においても、この操作を行うことにより経時変化に対応することができる。

【0070】なお、上述では、光信号の入力光パワーが+12dBmの場合について説明したが、+9dBm及び+15dBmの場合など非線形光学効果が生じる入力光パワーについて、同様に補償することができる。次に、別の実施形態について説明する。

（第2の実施形態の構成）第2の実施形態は、本発明にかかる光送信局、光通信システム及び分散制御方法の実施形態である。第1の実施形態では、VDC121の波長分散値を変更することによって総波長分散を最適化した。第2の実施形態では、光デュオバイナリ信号の光搬送波の波長を変えることによって総波長分散を最適化する。

【0071】図11は、第2の実施形態の光通信システムの構成を示す図である。図12は、第2の実施形態の光通信システムにおける光送信局の構成を示す図である。図13は、第2の実施形態の光通信システムにおける光受信局の構成を示す図である。

【0072】図11(a)において、第2の実施形態の光通信システムは、光送信局41、光伝送路12及び光受信局44を備えて構成される。光送信局41で生成された光デュオバイナリ信号は、光伝送路12に送出され、光受信局44で受信処理される。そして、光受信局44から光送信局41へ後述の制御信号を伝送する回線が設けられる。

【0073】ここで、光送信局41と光受信局44との間の伝送距離が、長距離である場合には、図11(b)に示すように、光伝送路12の間に必要個数の中継局13が設けられる。第2の実施形態の光送信局41は、図2に示す光送信局11に対して、図12に示すようにLD106の代わりに波長可変レーザ（以下、「 μ -LD」と略記する。）161を使用し、更にLD制御回路162を備えることを除き、第1の実施形態と同様であるので、この相違部分を除きその説明を省略する。

【0074】 μ -LD161は、発振波長を変更することができる半導体レーザである。例えば、分布ブラッグ反射型（DBR）波長可変レーザや分布反射型（DFB）波長可変レーザ、外部回折格子による波長選択帰還型波長可変レーザ及び外部反射鏡による複合共振器型波長可変レーザなどがある。LD制御回路162は、 μ -LD161の発振波長を所定の波長に制御する制御信号を回線を通じて光受信局44内のCPU168から受信する。LD制御回路162は、受信した制御信号が指示する波長となるように μ -LD161を制御する。この発振波長は、例えば、DBR波長可変レーザやDFB波長可変レーザの場合では、 μ -LD161の素子温度をペルチェ素子などによって変更することによって制御することができる。又、この発振波長は、 μ -LD161の注入電流を変更することによって制御することができる。そして、この制御は、素子温度の調整及び注入電流の調整の双方を行ってもよい。

【0075】この光送信局41は、所定の波長のレーザ光を μ -LD161で発振させ、このレーザ光を、第1の実施形態で説明したように、MZ変調器107に入射させて各電極117に印加されたデュオバイナリ信号に従って光強度変調させ、光デュオバイナリ信号として光伝送路12に射出する。一方、第2の実施形態の光受信局44は、図3に示す光受信局14に対して、図13に示すように分散補償部21及び制御部23の代わりにそれぞれフィルタ部51及び制御部53を使用することを除き、第1の実施形態と同様であるので、この相違部分を除きその説明を省略する。

【0076】光伝送路12を伝送した光デュオバイナリ信号は、フィルタ部51内の可変フィルタ（以下、「VFi1」と略記する。）166に入射される。VFi1166は、帯域通過フィルタであり、その通過波長帯域を変更することができる。この通過波長帯域は、CPU168の制御により光デュオバイナリ信号の波長に一致させられる。

【0077】VFi1から射出された光信号は、カプラ122を介して、光受信部123及び強度検出部22に射出する。強度検出部22の出力は、制御部53内のCPU168に入力される。制御部23は、CPU168及びメモリ169を備える。メモリ169は、VFi1161の通過波長帯域とその制御信号との関係テーブル、及び、CPU168を動作させるプログラムなどが予め格納され、プログラム実行中の各値などがその都度格納される。そして、メモリ169は、CPU168の要求に応じて、結果をCPU168に返す。

【0078】CPU168は、マイクロプロセッサなどを備えて構成され、後述する制御により、VFi1166の通過波長帯域を制御する制御信号をフィルタ部51内のVFi1制御回路167に出力するとともに、光受信局44内の μ -LD161の発振波長を制御する信号

をLD制御回路162に出力する。フィルタ部51は、VF1166及びそれを駆動するVF11制御回路167を備えて構成される。VF11制御回路167は、CPU168から出力された信号に従いVF1166の通過波長を変更する。

【0079】このように光受信局44は、フィルタ部51、入射光を2つに分岐するカプラ122、光受信部123、強度検出部22及び制御部53を備えて構成される。フィルタ部51は、光デュオバイナリ信号が入射され、通過波長帯域を変更することができる。強度検出部22は、光デュオバイナリ信号における特定の周波数成分の強度を検出する。制御部53は、強度検出部22の出力が所定の極値となるように光信号の波長を調整するとともに、調整されたこの波長にフィルタ部51の通過波長帯域を一致させる。

【0080】なお、第2の実施形態では、 π -LD161の発振波長を調整する制御信号は、専用の物理回線によって光受信局44から光送信局41に送信していたが、これに限定されるものではない。例えば、光波長分割多重信号の場合には、その1波長の光信号を使用してもよい。又、SDH (synchronous digital hierarchy) のセクションオーバーヘッド (section over head) の未定義バイトを利用してもよい。セクションオーバーヘッドは、SDHにおいて、保守情報、状態モニタなどのネットワークを運用する上で必要な情報を収容する部分である。

【0081】(第2の実施形態の作用効果)このような光通信システムでは、第1の実施形態におけるVDC121の分散値の変更を光信号の波長の変更で実現しているだけである。このため、第2の実施形態の作用効果は、第1の実施形態と同様に説明することができるので、その説明を省略する。

【0082】ここで、波長の変化に対する、強度特性とアイ開口度特性との関係の例として、図8(a)の入力光パワー $P_{in}=0\text{ dBm}$ 及び図9(a)の入力光パワー $P_{in}=+9\text{ dBm}$ における総波長分散を波長に変換した図を図14(a)及び(b)にそれぞれ示す。なお、図8(b)、図8(c)、図9(b)及び図9(c)も同様に変換することができる。

【0083】この図14からも分かるように、第2の実施形態においても上述の①乃至③の分散補償方法と同様な分散補償方法を適用することができるので、本発明によって光通信システムの総波長分散を最適化することができる。一方、特定周波数成分の強度を固定の分散補償器を介して検出する場合の光受信局64の構成について説明する。

【0084】図15は、第2の実施形態の光通信システムにおける光受信局の一変形の構成を示す図である。この光受信局64は、図13に示す光受信局44に対して、図15に示すようにカプラ122とPD124との

間にDC171を設けることを除き図13と同様であるので、その説明を省略する。そして、このような光受信局64を図11に示す光受信局44の代わりに使用することによって、上述の②の波長分散補償方法を光信号の波長変更で実現することができる。

【0085】なお、第1及び第2の実施形態では、1波長の光デュオバイナリ信号の光通信システムについて説明したが、波長分割多重光通信システムにも適用可能である。即ち、異なる各波長成分を分離した後に、各波長成分毎に適用すればよい。そして、第1及び第2の実施形態では、特定の周波数成分が40GHzの場合について説明したが、強度特性とアイ開口度特性との間には一定の関係が成立するので、他の周波数成分についても本発明を適用し得る。

【0086】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明では、光デュオバイナリ変調方式の光信号において、伝送路の波長分散を精密に補償することができる。そして、本発明では、経時変化する波長分散も精密に補償することができる。このため、本発明にかかる光通信システムでは、伝送距離を長距離化することができる。さらに、本発明によって既設の1.3 μm 帯単一モード光ファイバによる光通信網を有効に活用し得る。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態の光通信システムの構成を示す図である。

【図2】第1の実施形態の光通信システムにおける光送信局の構成を示す図である。

【図3】第1の実施形態の光通信システムにおける光受信局の構成を示す図である。

【図4】可変分散補償器の一構成例を示す図である。

【図5】可変分散補償器における各セグメントへ与える電圧パターン及び各パターンに対する分散特性を示す図である。

【図6】非線形光学効果が光伝送中で生じていない場合における分散補償方法の説明図である。

【図7】非線形光学効果が光伝送中で生じる場合における分散補償方法の説明図である。

【図8】線形領域における総波長分散の変化に対する強度特性及びアイ開口度特性を示す図である。

【図9】非線形領域における総波長分散の変化に対する強度特性及びアイ開口度特性を示す図である。

【図10】第1の実施形態の光通信システムにおける光受信局の一変形の構成を示す図である。

【図11】第2の実施形態の光通信システムの構成を示す図である。

【図12】第2の実施形態の光通信システムにおける光送信局の構成を示す図である。

【図13】第2の実施形態の光通信システムにおける光受信局の構成を示す図である。

【図14】波長の変化に対する強度特性及びアイ開口度特性。

【図15】第2の実施形態の光通信システムにおける光受信局の一変形の構成を示す図である。

【符号の説明】

1 1、4 1 光送信局

1 2 光伝送路

14、24、44、64 光受信局

2.1 分散補償部

22 強度検出部

23、53 制御部

51 フィルタ部

1 2 1 可變分散補償器

124 ホトダイオード

125 帯域通過フィルタ

127 パワーメータ

128、168 中央处理装置

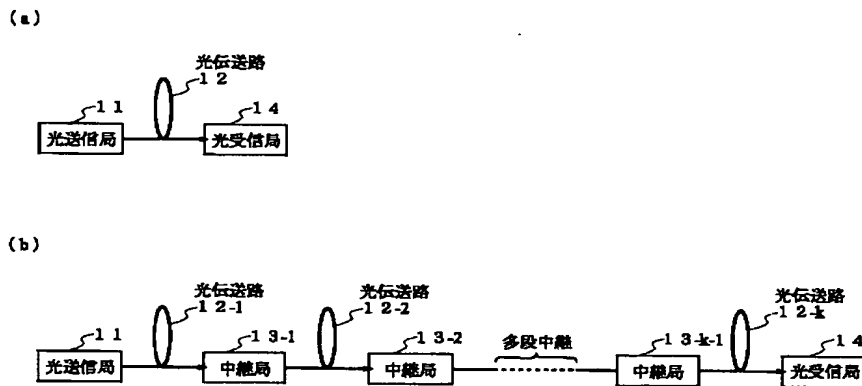
151、171 分散補償器

161 波長可変レーザ

166 可変フィルタ

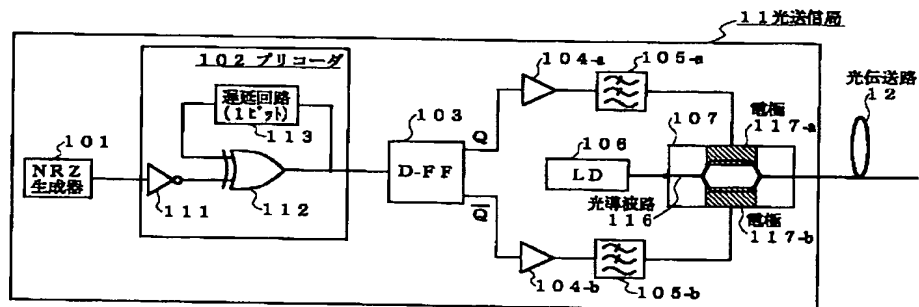
【図1】

第1実施形態の光通信システムの構成



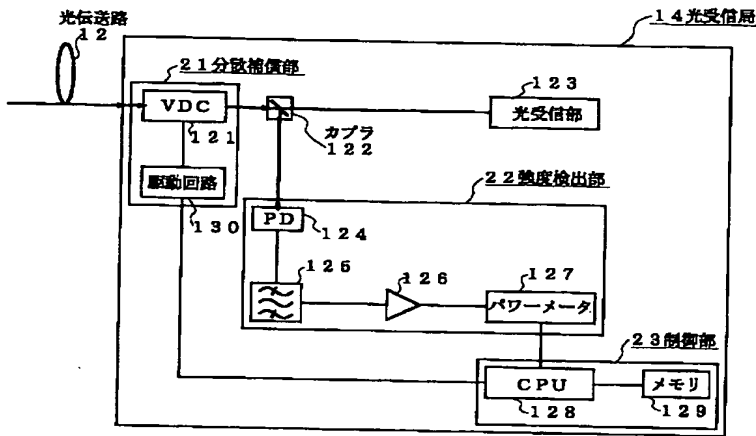
【図2】

第1の実施形態の光通信システムにおける光送信局の構成



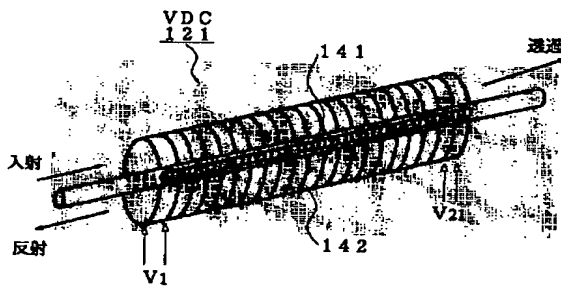
【図3】

第1の実施形態の光通信システムにおける光受信局の構成



【図4】

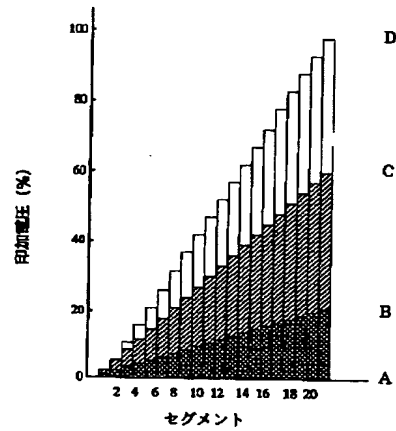
可変分散補償器の一構成例



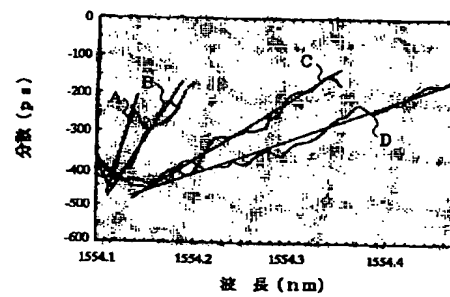
【図5】

可変分散補償器における各セグメントへ与える電圧パターン及び各パターンに対する分散特性

(a)

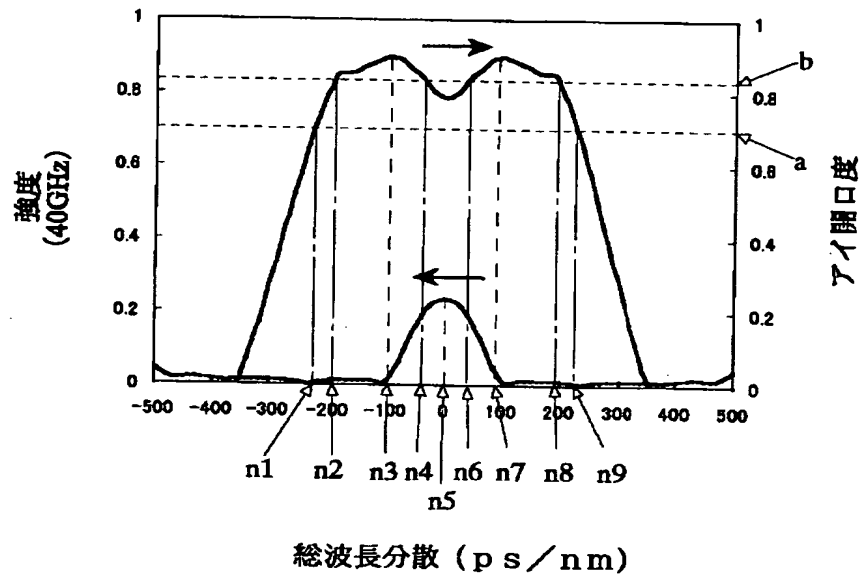


(b)



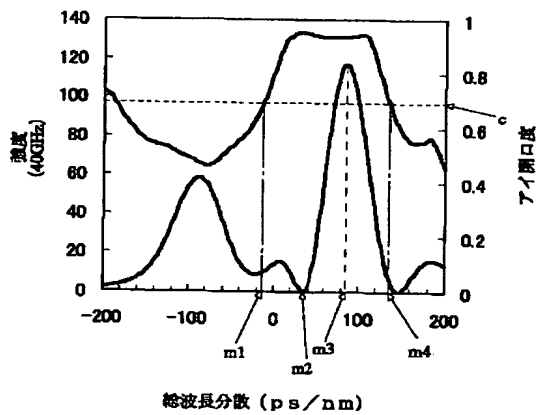
【図6】

非線形光学効果が光伝送路中で生じていない場合における
分散補償方法の説明図



【図7】

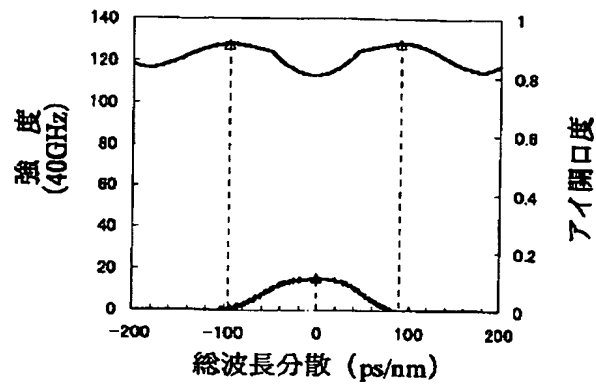
非線形光学効果が光伝送路中で生じる場合における
分散補償方法の説明図



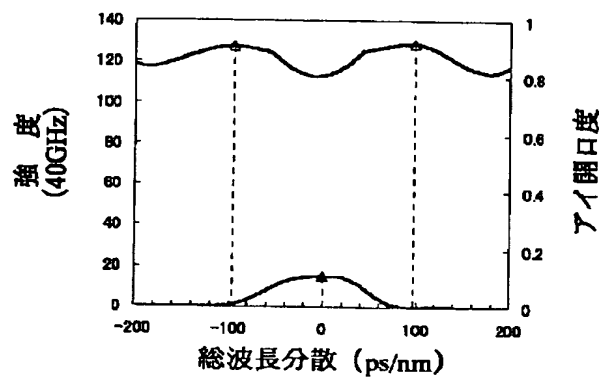
【図8】

線形領域における波長分散の変化に対する強度特性及びアイ開口度特性

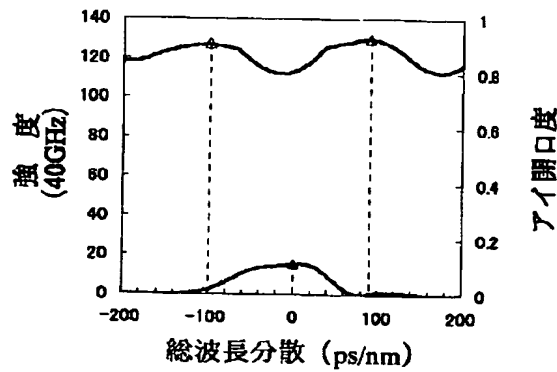
(a) $P_{in} = 0 \text{ dBm}$



(b) $P_{in} = +3 \text{ dBm}$



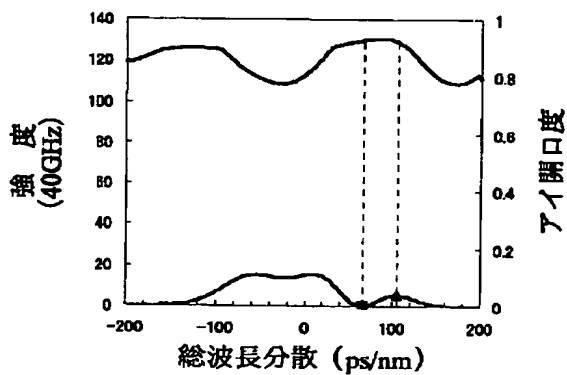
(c) $P_{in} = +6 \text{ dBm}$



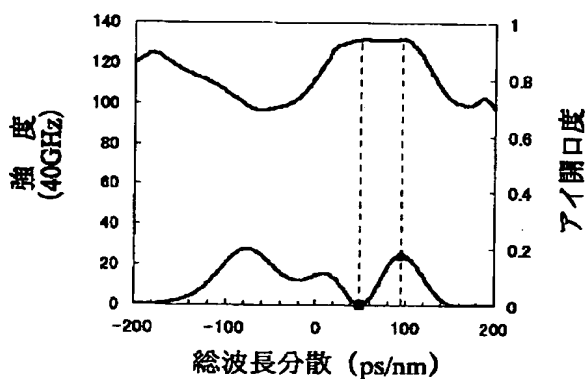
【図9】

非線形領域における波長分散の変化に対する強度特性及びアイ開口度特性

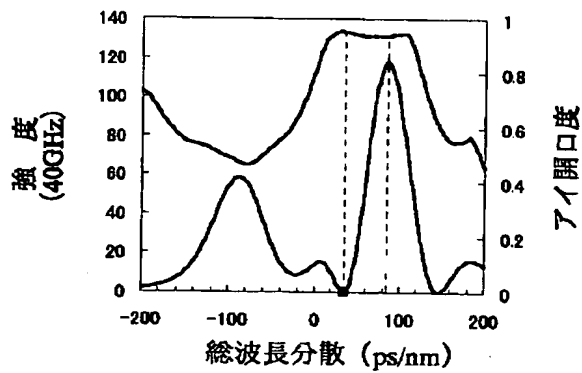
(a) $P_{in} = +9 \text{ dBm}$



(b) $P_{in} = +12 \text{ dBm}$

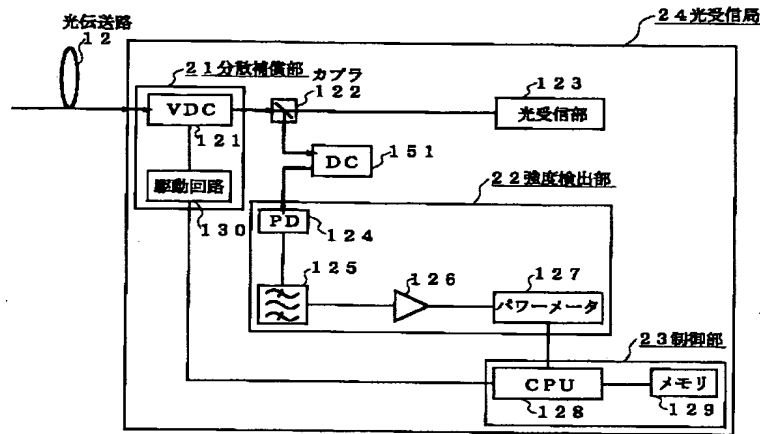


(c) $P_{in} = +15 \text{ dBm}$



【図10】

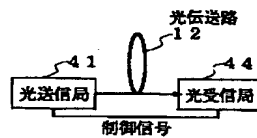
第1の実施形態の光通信システムにおける光受信局の一変形の構成



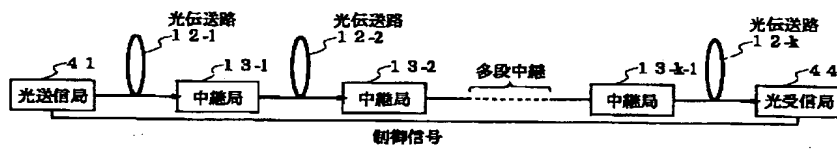
【図11】

第2の実施形態の光通信システムの構成

(a)

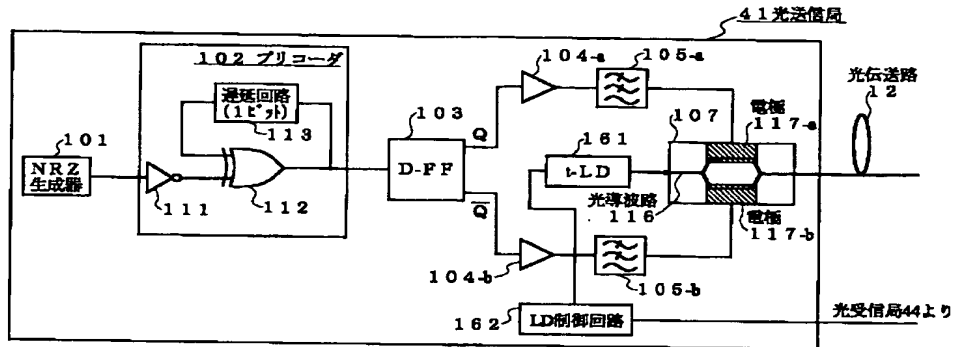


(b)



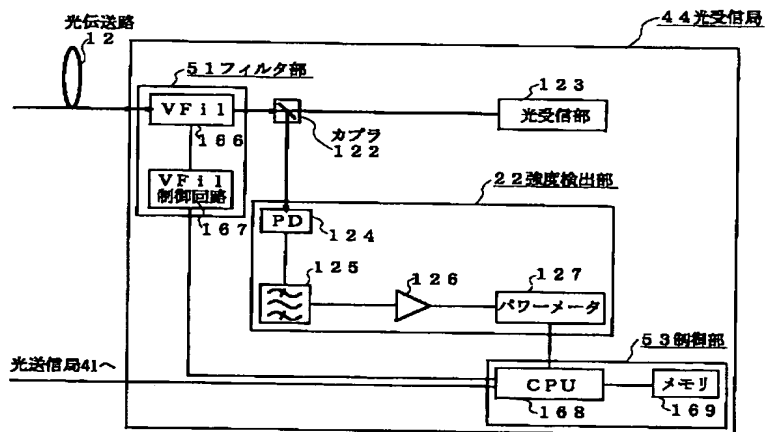
【図12】

第2の実施形態の光通信システムにおける光送信局の構成



【図13】

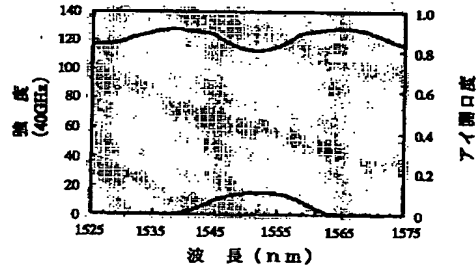
第2の実施形態の光通信システムにおける光受信局の構成



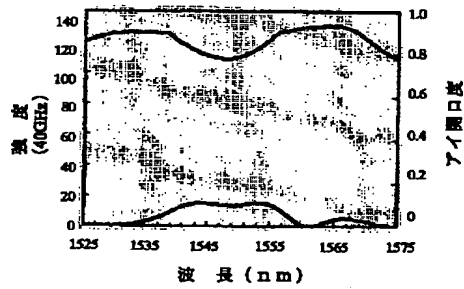
【図 14】

波長の変化に対する強度特性及びアイ開口度特性

(a) $P_{in} = 0 \text{ dBm}$

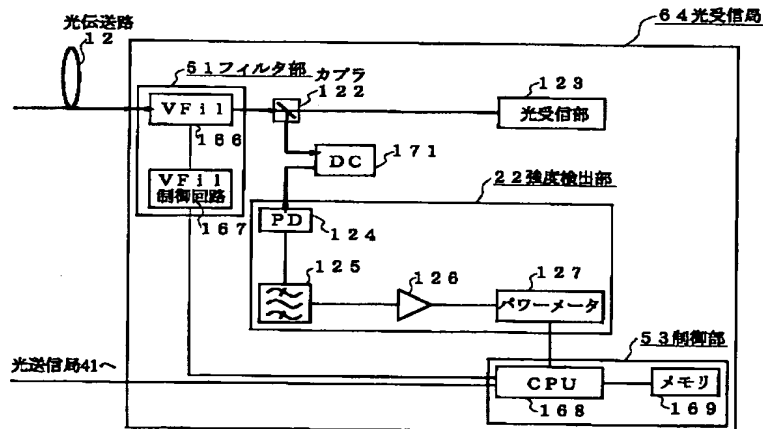


(b) $P_{in} = +9 \text{ dBm}$



【図 15】

第 2 の実施形態の光通信システムにおける光受信局の一実施形態の構成



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷
H04B 10/06

識別記号

F I

ターム(参考)

(72) 発明者 石川 丈二
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

Fターム(参考) 5K002 AA01 AA03 BA02 BA13 CA01
CA14 DA06 FA01